10.22092/sppi.2021.124603

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۷، شماره ۱، سال ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

اثر برهمکنش بور × پایه بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی سیب رقم گلدن دلیشز

Boron × Rootstock Interaction Effect on Growth, Physiological and Biochemical Characteristics of Apple cv. Golden Delicious

قاسم حسنی[۱]، عزیز مجیدی[۲]، علیرضا فرخزاد[۳] و ابراهیم سپهر[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
۲- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آمورش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۴- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

حسنی، ق.، مجیدی، ع.، فرخزاد، ع. و سپهر، ا. ۱۴۰۰. اثر برهمکنش بور × پایه بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی سیب رقم گلدن دلیشز. **مجله نهال و بذر۳۷**: ۳۹-۲۳.

سمیت بور به عنوان یکی از مهم‌ترین اختلالات رشدی گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مطرح می‌باشد. در این پژوهش، اثر متقابل چهار پایه رویشی MM106، M26، M9 و P22 و پنج سطح عنصر بور (صفر، ۱۵، ۳۰،۴۵ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) از منبع اسید بوریک بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سیب رقم گلدن دلیشز در مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی در دو سال متوالی (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) مطالعه و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عنصر بور در خاک، ارتفاع نهال، شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، شاخص کلروفیل و میزان رشد رویشی سیب رقم گلدن دلیشز روی همه پایه‌ها در مقایسه با شاهد کاهش یافت. رشد رویشی در غلظت‌های بالای عنصر بور در همه پایه ها بجز P22 و M26 متوقف شد، هر چند میزان رشد رویشی این پایه‌ها نیز نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین با افزایش مقدار بور در خاک دمای برگ، میزان نشت یونی و مالون دی آلدئید افزایش یافت. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در برگ نشان داد که فعالیت این آنزیم با افزایش مقدار بور از صفر تا ۳۰ میلی‌گرم در خاک افزایش، و در سطوح بالاتر کاهش یافت. مقدار بور اندازه‌گیری شده در برگ روی پایه‌های M26 وP22 کمتر از پایه‌های دیگر بود. نتایج حاکی از تحمل بیشتر سیب رقم گلدن دلیشز روی پایه رویشی M26 نسبت به پایه‌های دیگر در غلظت بیشتر از ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم عنصر بور در خاک بود.

واژه های کلیدی: سیب، سوپراکسیددیسموتاز، شاخص کلروفیل، سمیت بور، نشت یونی

نگارنده مسئول: gh.hasani91@gmail.com تلفن: ۰۴۴۳۲۷۲۲۲۲۲

مقدمه

سمیت عنصر بور به عنوان یکی از تنش‌های غیر زنده عمدتا به دلیل بالا بودن غلظت عنصر بور در آب آبیاری، عدم آب کافی جهت آبشویی و استفاده از فاضلاب‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح می‌باشد. استفاده از پایه‌های متحمل در درختان میوه، مهمترین راهکار برای فائق آمدن بر این‌گونه تنش‌ها می باشد. فقدان شرایط زهکشی مناسب در این اراضی منجر به تجمع مقادیر اضافی عنصر بور در لایه‌های عمیق‌تر خاک شده است (Herrera *et al*., 2010). اصلاح خاک در این شرایط مشکل است. بنابراین، انتخاب محصولاتی با درجه تحمل بیشتر یک راه حل پیشنهادی عملی برای مشکل سمیت بور می‌باشد (Yau and Ryan, 2008).

علائم سمیت بور به شکل تاخیر در گلدهی و مرگ جوانه انتهائی شاخه، زرد شدن رگبرگ میانی برگها، ریزش برگها، از بین رفتن انتهای شاخه‌ها، زودرسی میوه، افزایش تنفس و کاهش انبارمانی میوه می‌باشد. این علائم در برخی از باغات سیب استان آذربایجان غربی بویژه باغات احداث شده در حاشیه دریاچه ارومیه به وفور دیده می‌شود. وقوع آن در برخی از مناطق کشور بویژ مناطق شور و کم آب که آب آنها نیز شور می‌باشد و نیز در حاشیه کویر کشور نظیر اردکان، جهرم و جیرفت گزارش شده است (Majidi, 2010).

در برگ‌های انگور بیدانه سفید با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، میزان تجمع بور، نشت یونی، محتوای پرولین، مالون دی آلدئید افزایش و پروتئین محلول و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز کاهش یافت (Nezamdoost *et al*., 2017). کاهش در مقدار پرولین و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها در برگهای پایه EM9 سیب که تحت سمیت بور قرار گرفته بود، اتفاق افتاد (Molassiotis *et al*., 2006).در انگور گزارش شده که با افزایش غلظت عنصر بور، مالون دی آلدهید در برگ افزایش یافت (Gunes *et al*., 2006). افزایش در فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز در غلظت‌های بالا در برگهای گلابی در مقایسه با شاهد گزارش شده است و با افزایش غلظت بور به ۵۰۰ میکرومولار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافت (Wang *et al*., 2011).

واکنش پایه های مختلف رویشی سیب شامل M26، MM106 و M9 نسبت به مقادیر مختلف عنصر بور نشان داد که مقدار عنصر بور در برگ پایه رویشی M26 کمتر از پایه‌های دیگر بود. مقدار کلروفیل و میزان فتوسنتز برگها در پایه‌های رویشی تیمار شده با غلظت بالای عنصر بور در مقایسه با شاهد کمتر بود (Koutinase, 2013). همچنین نشان داده شده است که سیب رقم گلدن دلیشز روی پایه رویشی M26 نسبت به پایه های دیگر در مواجه با تنش کم آبی از تحمل و کارایی

مصرف آب بالایی در شرایط ایران برخوردار بود (Hassani *et al.*, 2009).

اثر مقادیر مختلف بور روی بادام رقم فراگنس پیوند شده روی دو پایه جی اف-۶۷۷ و تواونو نشان داد که با افزایش سطوح عنصر بور، وزن تر و خشک برگ و ریشه، سطح برگ و شاخص کلروفیل کاهش یافت. پایه توانو از طریق سازکار تدافعی نظیر ایجاد محدودیت در انتقال بور از ریشه به قسمت های هوائی تحمل بالاتری نسبت به پایه جی اف- ۶۷۷ داشت (Oraei *et al.*, 2010). همچنین غلظت بور در برگ ارقام زیتون آمیگدالولیا و کنسروالیا با افزایش سطوح بور در محلول غذایی، افزایش یافت (Rostami *et al.*, 2013). افزایش غلظت بور در برگ سیب رقم جوناگلد پیوند شده روی پایه رویشی M26 پس از اعمال تنش سمیت عنصر بور مشاهده شد (Wojcik and Treder, 2006).

در آزمایشی واکنش نهالهای دوساله سیب رقم ردچیف دلیشز نسبت به مقادیر مختلف بور (۱، ۳ و ۵ میلی گرم در کیلو گرم خاک) در خاک بررسی شد. تعداد گره، ارتفاع نهال، قطر ساقه و طول شاخه به صورت معنی دار تحت تاثیر مقادیر بور و آهکی بودن خاک واقع نشدند. غلظت بور و پتاسیم موجود در برگها با مقادیر بور اضافه شده همبستگی مثبت نشان داد (Paparnakis *et al.*, 2013). همبستگی مثبت بین مقدار بور در برگهای پایه رویشی M26 و MM106 با مقادیر عنصر بور در محلول خاک نشان داده شده است (Wojcik, 2000). نتایج اعمال تنش بور روی گلابی آسیائی رقمCuiguan، جهت بررسی خواص فتوسنتزی برگ و پراکسیداسیون لیپیدی برگ نشان داد که تیمار با غلظت بالای بور ضمن افزایش مقدار عنصر بور برگ، مقدار کلروفیل برگ را کاهش داد (Wang *et al.*, 2011).

با توجه به اینکه بیش از ۶۰ هزار هکتار ازباغات استان آذربایجان‌غربی اختصاص به سیب دارد که به لحاظ سطح زیرکشت و مقدار محصول تولیدی در سطح کشور در جایگاه نخست قرار دارد و به دلیل بروز علائم سمیت بور در بعضی از باغات سیب استان ضروری است که واکنش پایه های رویشی سیب نسبت به بیش بود این عنصر مطالعه شود. همچنین با توجه به سیاست وزارت کشاورزی مبنی بر توسعه و جایگزینی پایه‌های رویشی سیب با پایه‌های بذری، ضروری است که عکس العمل سیب گلدن‌دلیشز روی پایه‌های رویشی نسبت به مقادیر مختلف بور درخاک ارزیابی شود.

هدف از این پژوهش بررسی اثر متقابل عنصر بور × پایه بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سیب رقم گلدن‌دلیشز بود.

مواد و روش ها

در این پژوهش از نهال دو ساله سیب رقم

گلدن‌دلیشز روی چهار پایه رویشی سیب شامل MM106، M26، M9 و P22 که از لحاظ سن، قطر و اندازه یکسان بودند، استفاده شد. میانگین حداقل دمای ثبت شده در محل آزمایش ۱۴- درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر آن ۳۹ درجه سانتی‌گراد بود. میانگین رطوبت نسبی ۴۶ درصد در سال، میانگین تبخیر سالیانه ۱۴۰۰ میلی‌متر می باشد. پایه‌های رویشی در یک خاک زراعی دست نخورده با مشخصات فیزیکی و شیمیایی مندرج در (جدول ۱) و در گلدان های پلاستیکی به حجم ۲۴ لیتر در هوای آزاد کشت شدند. این پژوهش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی اجرا شد.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی وشیمیایی خاک

Table 1. Physico-chemical properties of soil

بر (میلی گرم در کیلوگرم) B (ppm)	پتاس در دسترس (میلی گرم در کیلوگرم) K_{ava} (ppm)	فسفر در دسترس (میلی گرم در کیلوگرم) P_{ava} ppm	pH	هدایت الکتریکی Ec ($Ec \times 10^3$)	درصد نیتروژن کل T. N. V. (%)	درصد کربن آلی O. C. (%)	بافت Texture	درصد شن Sand (%)
1.73	360	8.71	7.4	0.659	14.7	0.77	Silty Loam	40

پس از کاشت نهال و مراقبت های باغی، تیمارسطوح مختلف بور (صفر = B1، ۱۵ B2 =، ۳۰ = B3، ۴۵ = B4 و ۶۰ = B5 میلی گرم بور در کیلوگرم خاک۵۶۷۸) از منبع اسید بوریک به صورت محلول در آب اعمال شد. پس از اعمال تیمار سطوح مختلف بور در خاک، آبیاری به صورت دستی و به کمک پیمانه مدرج انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در هر تکرار از هر پایه ۱۵ گلدان مورد بررسی قرار گرفت. اعمال تیمارها سه ماه پس از کشت نهال در گلدان انجام گردید. در پایان دوره آزمایش و سه ماه پس از اعمال تیمار، میزان رشد رویشی شاخه‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ از رابطه زیر(رابطه شماره ۱) و با استفاده از دستگاه (Leaf Area meter) اندازه‌گیری شد.

رابطه ۱: سطح زمین اشغال شده / سطح کل برگ = (LAI) شاخص سطح برگ

برگهای تازه جدا شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. جهت تعیین وزن

خشک، برگهای جدا شده به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی گراد گذاشته شدند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد.

برای اندازه گیری نشت یونی برگ از دستگاه هدایت الکتریکی (Lutts *et al*., 1996) و برای تعیین غلظت بور از روش آزومتین اچ (Azomethine-H) استفاده شد (Wolf, 1974). در هر گلدان شاخص سطح کلروفیل هشت برگ (از قسمت های بالا و پائین ترکیب پیوندی) با استفاده از دستگاه سنجش محتوی کلروفیل (Minolta, SPAD, 502, Japon) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مالون دی آلدهید (MDA) از هیث و پکر (Heath and Packer, 1968) استفاده گردید. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از طریق اندازه‌گیری توانایی آن در جلوگیری از احیای نوری نیترو بلو تترازولیوم کلراید با استفاده از روش دنیدسا (Dhindsa, 1981) سنجش شد. داده های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار آماریSAS تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر پایه و سطوح مختلف عنصر بور و اثر متقابل آنها بر اغلب صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر این اساس، اثر پایه بر روی شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ، نشت یونی، میزان رشد رویشی، ارتفاع نهال، مقدار بور برگ، وزن تر و خشک برگ در سطح احتمال یک درصد بسیار معنی‌دار بود (جدول۲). اثر سطوح مختلف عنصر بور نیز بر شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ، نشت یونی، میزان رشد رویشی، ارتفاع نهال، مقدار عنصر بور برگ، وزن تر و خشک برگ، آسکوربات-پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و مالون‌دی آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲).

اثر متقابل پایه رویشی × غلظت عنصر بور بر میزان رشد رویشی، ارتفاع نهال، وزن تر و خشک برگ، مقدار عنصر بور برگ، شاخص سطح برگ و شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر سال فقط بر روی میزان رشد رویشی شاخه فصل جاری معنی دار بود (جدول ۲).

نشت یونی برگ

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد اثر ساده تیمار سطوح مختلف عنصر بور، ترکیب پیوندی و اثر متقابل نوع ترکیب پیوندی × تیمار عنصر بور بر میزان نشت یونی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش سطوح عنصر بور در خاک میزان نشت یونی برگ افزایش یافت. بیشترین میزان نشت یونی برگ در ترکیب پیوندی M9 و MM106 در سطح بور ۶۰ میلی گرم در

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی ترکیبات پایه و پیوندی سیب

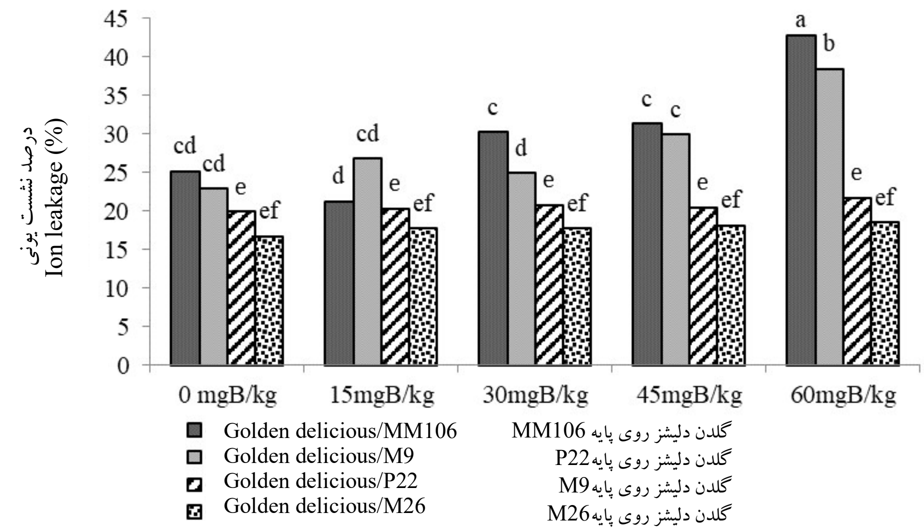
Table 2. Combined analysis of variance for some vegetative and physiological traits of scion-rootstock combinations of apple

			Mean Square میانگین مربعات									
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyl index	ارتفاع گیاه Plant height	رشد رویشی Vegetative growth	میزان عنصر بور برگ Leaf boron content	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	نشت یونی Ion leakage	مالون‌دی‌آلدئید Malondialdeyde	سوپر اکسید دسموتاز Superoxide dismutase
Year (Y)	سال	1	0.1387	1.8790	11.1600	8.96000	4.40800	0.1047	0.00500	13.25000	0.00078	1.1079
Replication/Y	تکرار/سال	4	0.0986	2.2840	105.8200	71.68000	3.27500	0.0406	0.04100	18.21000	0.00056	1.2840
Rootstock (R)	پایه	3	0.1720**	117.7200**	3735.1970**	3597.40000**	33503.43000**	0.0160**	0.05800**	12.09000**	0.01780**	0.0469
Boron (B)	بور	4	2.3410**	29.7100**	960.0700**	998.87000**	17523.31000**	0.0720**	0.02300**	192.21000**	0.00440**	19.2710**
R × B	پایه × بور	12	0.1060**	14.2900**	151.7600**	109.85000**	5877.45000**	0.0032**	0.00160**	19.29000**	0.01140**	6.1700
Y × R	سال × پایه	3	0.0016	0.0024	0.0119	0.00034	0.00860	0.0022	0.00013	0.00036	0.00061	0.0506
Y × B	سال × بور	4	0.0005	0.0049	0.0016	0.00015	0.00094	0.0360	0.00014	0.00038	0.00081	0.0223
Y × R × B	سال × پایه × بور	12	0.0280	0.0094	0.0028	0.00031	0.00037	0.0043	0.00010	0.00810	0.00037	0.0164
Error	خطا	76	0.1050	0.6570	74.3280	2.33000	2.30300	0.0030	0.00240	8.98000	0.00002	1.2800
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		1.71	4.99	13.61	3.77	1.47	2.37	1.39	3.89	3.43	3.51

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

*و**: به ترتیب معنی‌دار درسطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

کیلوگرم خاک و کمترین درصد نشت یونی در پایه‌های رویشی P22 و M26 مشاهده شد. روند افزایش درصد نشت یونی از شاهد تا سطح ۶۰ میلی‌گرم در همه پایه‌ها یکسان نبود. کمترین روند افزایش میزان نشت یونی در پایه‌های M26 و P22 مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بور بر میزان نشت یونی در برگ ترکیب‌های پیوندی سیب. میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار ندارند.

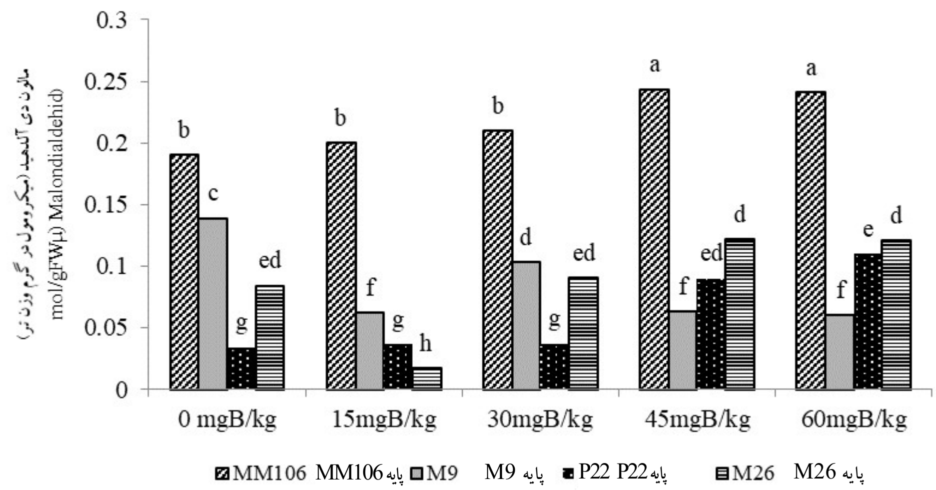
Fig. 1. Mean comparison of the effect of different levels of boron on ion leakage of leaves in apple scion-rootstock combinations. Means with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

با افزایش سطح عنصر بور میزان نشت یونی در برگ انگور سفید بیدانه افزایش یافت (Nezamdoost *et al*., 1396). در شرایط تنش سمیت عنصر بور غشاء یاخته‌ای پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث افزایش نفوذ پذیری غشاء و در نتیجه باعث تغییر در یکپارچگی ساختار غشاء می‌شود. دلیل ارتباط بین درصد نشت الکترولیت با تجمع عنصر بور در برگ این است که عنصر بور به طور مستقیم باعث آسیب یاخته‌ای و بافت مردگی می‌شود (Apstol and Zwiazek, 2004).

مالون‌دی‌آلدهید

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر ساده عنصر بور، ترکیب پیوندی و اثر متقابل بور در ترکیب پیوندی بر میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود

(جـدول ۲). بـا افـزایش غلظـت عنصـر بـور، میـزان مـالون‌دی‌آلدهیـد در بـرگ همـه ترکیب‌های پیونـدی افـزایش یافـت ، امـا مقـدار ایـن افـزایش در همـه پایـه‌هـا یکسـان نبـود بـه طوریکـه کمتـرین میـزان مـالون‌دی‌آلدهیـد در برگ ترکیب پیوندی روی پایه رویشـیM26 در سطح ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بور مشـاهده شـد (شکل ۲).



شکل۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف عنصر بور× پایه بر محتوی مالون‌دی‌آلدهید بـرگ سـیب رقم گلدن‌دلیشز. میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک مـی باشـند بـر اسـاس آزمـون چنـد دامنـه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارد.

Fig .2. Mean comparison of the interaction effect of different levels of boron and rootstock on malondialdehyde content in leaves of cv. Golden Delicious. Means with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

افـزایش در میـزان مـالون‌دی‌آلدهیـد در اثـر افـــزایش غلظـــت عنصـــر بـــور در بـــرگ گلابـی(Wang *et al*., 2011)، پایـه‌هـای سـیب (Molassiotis *et al*., 2006) و برگهـای انگـور بیدانـه سـفید (Nezamdoost *et a*l., 1396) نیزگزارش شده اسـت. تخریـب غشـاهای سـلول یکی از پیامدهای غیر مستقیم تـنش سـمیت بـور می‌باشد. تنش از طریق افـزایش گونـه‌هـای فعـال اکسـیژن در سـلول‌هـای بـرگ گیاهـان سـبب افزایش تولید میزان مـالون‌دی‌آلدهیـد مـی شـود. مـالون‌دی‌آلدهیـد یـک فـرآورده مهـم از عمـل پراکسیداسیون لیپیدی است و می‌تواند بـه عنـوان سطح پراکسیداسیون لیپیدی غشـاء بکـار رود. در این آزمایش با افزایش تنش سـمیت عنصـر بـور، پراکسیداسیون لیپیدی و مالون‌دی‌آلدهید و نهایتـا نفوذ پذیری غشاء افزایش یافـت. پراکسیداسـیون

چربی از طریق عمل لیپواکسیژناز آغاز و منجر به تخریب و ناپایداری غشای سلول می شود (EI-Fekey *et al*., 2014).

شاخص‌های رشدی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که واکنش رشدی رقم سیب‌گلدن دلیشز به تیمارهای مختلف عنصر بور به سطوح بور و نوع پایه بستگی دارد (جدول ۳). با افزایش غلظت عنصر بور، شاخص سطح برگ، میزان رشد رویشی شاخه و وزن تر و خشک برگ در مقایسه با شاهد در همه پایه‌های پیوندی سیب در ابتدا افزایش و سپس در غلظت های بالاتر بور کاهش یافت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها میزان رشد رویشی شاخه در پایه‌های پیوندی مورد استفاده در این آزمایش تا غلظت‌های کمتر (۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) عنصر بور با افزایش رشد رویشی مواجه شدند ولی با افزایش غلظت عنصر بور در خاک، روند رشد رویشی به صورت کاهشی بود (شکل ۳).

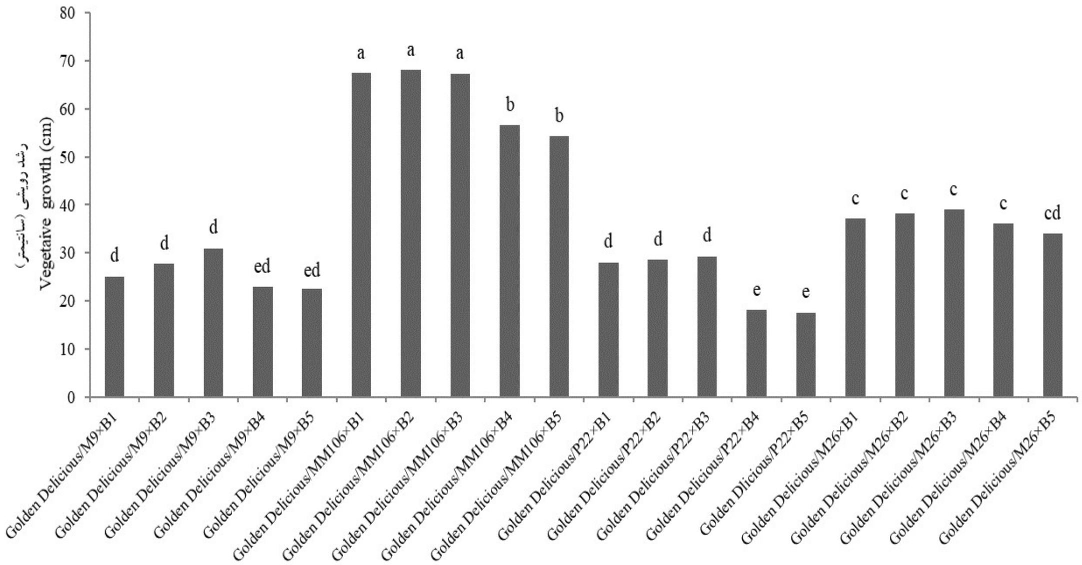
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف عنصر بور × پایه بر برخی صفات اندازه‌گیری شده پایه‌های پیوندی سیب رقم گلدن‌دلیشز

Table 3. Mean comparison of the interaction effect of different levels of boron × apple rootstock on some apple scion-rootstocks characteristics cv. Golden delicious

پایه پیوندی Scion-rootstock	سطوح مختلف بور Boron levels	شاخص کلروفیل SPAD	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن تر برگ (گرم) Leaf fresh weight (g)	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (g)	ارتفاع گیاه (سانتیمتر) Plant height (cm)
MM106	B1 (Boron=0 mg)	49.410b	5.470b	1.130a	0.501bc	61.500g-k
MM106	B2 (Boron=15 mg)	49.960ab	4.610d	0.973bc	0.430g-j	67.917g
MM106	B3 (Boron=30 mg)	47.10bc	4.840c	1.020b	0.457d-g	64.250gh
MM106	B4 (Boron=45 mg)	46.430c	4.250ef	1.150a	0.524b	54.833jkl
MM106	B5 (Boron=60 mg	43.800d	4.230ef	1.013b	0.603a	52.967klm
M9	B1 (Boron=0 mg)	47.700c	5.880a	0.632kl	0.237q	94.667b
M9	B2 (Boron=15 mg)	47.000c	4.910c	0.603kl	0.270pq	87.283bcd
M9	B3 (Boron=30 mg)	44.867d	4.380e	0.573kl	0.263pq	92.417b
M9	B4 (Boron=45 mg)	44.833d	2.940lm	0.592kl	0.277pq	82.750cde
M9	B5 (Boron=60 mg)	43.600d	2.915lm	0.563l	0.583a	83.857cde
P22	B1 (Boron=0 mg)	49.533b	2.680nop	0.912cde	0.407h-l	51.750lm
P22	B2 (Boron=15 mg)	49.933b	2.740mno	0.853efg	0.387j-m	52.667klm
P22	B3 (Boron=30 mg)	47.500b	3.900gh	0.659jk	0.283p	49.917lm
P22	B4 (Boron=45 mg)	52.700a	2.660nop	0.743hij	0.340no	44.667mn
P22	B5 (Boron=60 mg)	47.633c	2.560op	0.7333ij	0.373k-n	45.00mn
M26	B1 (Boron=0 mg)	47.400c	1.880q	0.466m	0.164r	78.317e
M26	B2 (Boron=15 mg)	48.700bc	1.910q	0.452mn	0.155r	78.003e
M26	B3 (Boron=30 mg)	48.500ab	1. 630v	0.439mno	0.163r	76.933ef
M26	B4 (Boron=45 mg)	47.833c	1.410s	0.412m-p	0.127r	76.933ef
M26	B5 (Boron=60 mg)	46.567c	1.370s	0.373n-q	0.125r	76.400ef

میانگین‌هایی، در هر ستون ، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



شکل۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف عنصر بور × پایه بر رشد رویشی سیب گلدن دلیشز. میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند بر اساس آزمون چند دانه ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Fig 3. Mean comparison of the interaction effect of different levels of boron and rootstock on vegetative growth of cv. Golden delicious. Means with at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

این یافته ها با نتایج (Wang *et al*., 2011) مطابقت دارد. بر این اساس نهال‌هایی که در دوره نونهالی هستند، به علت تقسیمات شدید سلولی و نیاز به عنصر بور برای تشکیل دیواره سلولی در سلولهای تازه تشکیل یافته، بویژه در نقاط مریستمی گیاه، به مقادیر اضافی بور در غلظت های کم، واکنش مثبت نشان دادند. هرچند واکنش پایه‌ها متفاوت بود به طوریکه پایه‌های رویشی M26 و P22 نسبت به پایه های دیگر کاهش رشدی کمتری داشتند. در پایه‌های M26 و P22 درصد کاهش رشد رویشی در غلظت ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم نسبت به شاهد به ترتیب برابر ۴۵ درصد و ۴۸ درصد بود در حالیکه در پایه‌های رویشی دیگر بیش از ۷۰ درصد کاهش رشد داشتند. این کاهش رشد از لحاظ میزان رشد رویشی شاخه، وزن تر و خشک برگ با یافته های پاپارنکیس و همکاران (Paparnakis *et al*., 2013) در یک خاک اسیدی مغایرت دارد ولی با یافته های دیگران مطابقت دارد (Wang *et al*., 2011; Rostami *et al*., 2014).

کاهش وزن تر برگ در پایه M26 در

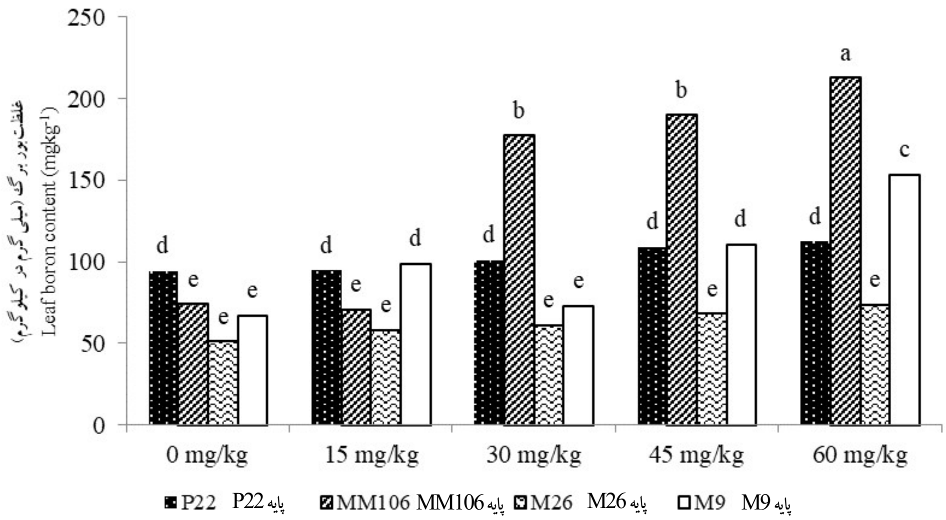
تیمارغلظت ۶۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد ۲۱ درصد و بر اساس وزن خشک ۲۵ درصد بود. کاهش وزن تر برگ در پایه P22 در تیمارغلظت ۶۰ میلی‌گرم بور در خاک نسبت به شاهد ۱۹درصد و بر اساس وزن خشک ۲۳ درصد بود. در حالیکه در پایه‌های دیگر، درصد کاهش وزن تر و خشک برگ در تیمار ۶۰ میلی گرم بور در کیلوگرم نسبت به شاهد بیش از ۵۰ درصد بود. این کاهش در وزن تر و خشک برگ و هم چنین کاهش رشد روی پایه‌های رویشی MM106 و M9 بارزتر بود که این امر می‌تواند به دلیل وجود نقاط بیشتر نکروزه و هم چنین کاهش شاخص سطح برگ در سطوح ۴۵ و ۶۰ میلی گرم بور در کیلوگرم در خاک در برگ این پایه‌ها باشد.

وجود نقاط نکروزه در سطح برگ و کاهش شاخص سطح برگ باعث کاهش سطح فتوسنتز برگ و کاهش تشکیل مواد مورد نیاز برای رشد گیاه می‌شود. کاهش در وزن تر و خشک برگها و هم چنین شاخص سطح برگ در غلظت‌های بالاتر ناشی از کاهش رشد رویشی در اثر سمیت عنصر بور در غلظت های بیشتر می‌باشد (Araniti and Abenavoli, 2016). هم چنین سمیت بور می‌تواند مانع از رشد طولی ریشه گردد، زیرا مقادیر بیش از حد آن باعث اختلال در فرآیند ساخت دیواره سلولی و کاهش تقسیم سلولی و رشد ریشه می شود و در نهایت باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش رشد رویشی، وزن تر و خشک برگ می‌شود (Camacho-Cristóbal *et al*., 2008).

غلظت عنصر بور در برگ

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف عنصر بور × پایه رویشی بر غلظت بور در برگ در سطح احتمال یک درصد بسیار معنی دار بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها کمترین و بیشترین مقدار بور تجمع یافته در تیمار ۶۰ میلی گرم اسید بوریک در کیلوگرم خاک به ترتیب در برگ گلدن دلیشز روی پایه رویشی M26 و M9 بدست آمد (شکل ۴).

نتایج تجزیه برگ نشان دادکه با افزایش سطح غلظت بور در خاک، میزان عنصر بور اندازه‌گیری شده در برگ همه پایه‌های پیوندی نسبت به شاهد افزایش یافت ولی تغییرات مقدار عنصر بور اندازه‌گیری شده متفاوت بود. میزان تجمع عنصر بور در سطح ۶۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم در برگ سیب گلدن دلیشز روی پایه‌های رویشیM26 و P22 نسبت به شاهد در مقایسه با پایه‌های رویشی دیگر، نزدیک به ۵۰ درصد کمتر بود به طوریکه در سطح عنصر بور ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک، میزان بور در برگ گلدن دلیشز روی پایه‌های M26 و P22 به ترتیب معادل ۹۱ و ۱۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ بود (شکل۴). این نتایج با یافته های نبل و همکاران (Nable *et al*., 1997) مطابقت دارد.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف عنصر بور × پایه بر غلظت عنصر بور در برگ سیب رقم گلدن دلیشز. میانگین هایی که دارای حرف مشترک می باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Fig. 4. Mean comparison of the interaction effect of different levels of boron and different rootstocks on boron content in leaf of cv. Golden Delicious. Means with the same letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

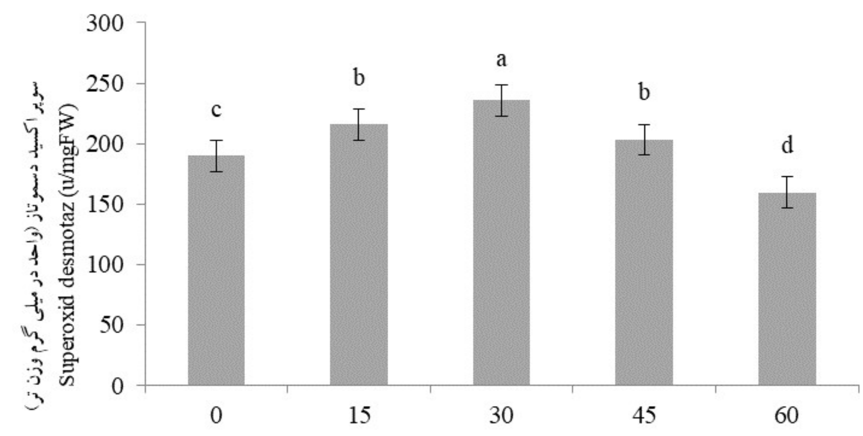
بر اساس یافته های این پژوهش، ژنوتیپ‌های حساس به سمیت عنصر بور دارای غلظت بور بیشتری در برگ هایشان نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل بودند و این احتمالا به دلیل جذب کمتر بور در ریشه آنها است. به نظر می رسد که پایه‌های رویشی M26 و P22 از طریق سازکار تدافعی توانسته‌اند که بور را در ریشه خود انباشته و از انتقال آن به برگ جلوگیری نمایند. بسیاری از ارقام متحمل به سمیت عنصر بور قادر هستند غلظت عنصر بور موجود در برگ را در سطح پایینی نگه داشته و از این طریق نسبت به سمیت بور تحمل نشان دهند (Nable *et al*., 1997).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وجود مقادیر بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم وزن خشک برگ سبب ایجاد علائم سمیت بور در برگ روی پایه‌های رویشی M9 و MM106 شد (شکل ۴). افزایش سطح عنصر بور در خاک، مقادیر بور برگ در پسته را افزایش داد (Kord *et al*., 2010). نتایج مشابهی

در پـــژوهش هـــای ســـایر پژوهشـــگران در گیاهـــان مختلـــف بدســـت آمـــده اســـت (Kamali and Childers, 1970; Shelp, 1988; Rostami *et al*., 2014).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

تجزیه‌های بیوشیمیایی نشان داد که بـا افـزایش غلظت بور در خاک فعالیت آنـزیم سـوپراکسـید-دیسموتاز اندازه‌گیری شده در برگ همه پایه‌هـای پیونـدی درغلظـت هـای پـائین افـزایش و سـپس کـاهش یافـت (شـکل ۵). فعالیـت ایـن آنـزیم تـا سـطح ۳۰ میلـی گـرم بـور در کیلـوگرم خـاک افزایش و از سـطح ۳۰ میلـی‌گـرم بـه بـالا کـاهش نشان داد. بـر اسـاس ایـن نتـایج کمتـرین تغییـرات بیوشـیمیائی در بـرگ روی پایـه رویشـی M26 و P22 مشـاهده شـد. آنـزیم سـوپراکسـیددیسـموتاز اولین خـط دفـاعی را بـر علیـه رادیکـال‌هـای آزاد اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهد و احیـا رادیکـال سوپراکسید را به پـر اکسـید هیـدروژن و اکسـیژن مولکـولی کاتـالیز مـی کنـد. پراکسـید هیـدروژن حاصـــل در مرحلـــه بعـــدی بوســـیله آنـــزیم‌هـــای آسـکوربات پراکسـیداز، کاتـالاز و پـر اکسـیداز پاکسازی می شود (Landi *et al*., 2012).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف عنصر بور بـر فعالیـت آنـزیم سـوپراکسـیددیسـموتاز در بـرگ پایه‌های پیوندی سیب رقـم گلـدن دلیشـز. میـانگین هـایی کـه دارای حـرف مشـترک مـی باشـند براسـاس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Fig. 5. Mean comparison of the effect of different levels of boron on superoxide dismotase activity in leaf of scion-rootstocks of cv. Golde Delicious. Means with the same letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

از طـرف دیگـر بـا انـدازه‌گیـری مقـدار مالون‌دی‌آلدهید عصاره برگی در این آزمایش معلوم گردید که با افزایش مقدار عنصر بـور در خاک، مقدار MDA در همه پایه‌های پیوندی سیب افزایش یافت. هر چند مقدار افزایش در همه پایه‌های پیوندی یکسان نبود ولی روند افزایشی پراکسیداسیون لیپید غشاء در همه مشاهده گردید. در شرایط تنش بور شدید، سنتز گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) منجر به خسارت در غشاء سیتوپلاسمی و افزایش پراکسیداسیون لیپید می‌شود و این شاید دلیلی بر کاهش آنزیم‌های جاروب کننده اندازه‌گیری شده در این آزمایش در غلظت‌های بالاتر عنصر بـور در خاک باشد و این با نتیجه آزمایش انجام شده روی گلابی مطابقت دارد. تنش سمیت عنصر بور متوسط می‌تواند قدرت سامانه به دام انداختن گونه‌های فعال اکسیژن را بهبود بخشد، اما غلظت‌های بالاتر عنصر بور بر این سامانه غلبه خواهد کرد (Wang *et al.*, 2011).

نتایج این پژوهش نشان داد که سمیت عنصر بور بیشتر شاخص‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی را در رقم سیب گلدن دلیشز روی همه پایه‌های رویشی مورد استفاده در این آزمایش تحت تاثیر قرار داد. شاخص‌های رویشی بسته به نوع پایه و سطح عنصر بور عکس‌العمل متفاوتی نشان دادند ولی اغلب شاخص‌های رویشی در سطوح بالاتر بور با کاهش مواجه شدند. با افزایش غلظت بور میزان تجمع بور، نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید افزایش و محتوی نسبی آب برگ کاهش یافت. فعالیت آنزیم سوپر اکسیددسموتاز در غلظت های پائین عنصر بور افزایش و سپس در غلظت های بالاتر کاهش یافت.

در شرایط تنش سمیت عنصر بور، سنتز گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) از طریق افزایش مالون‌دی‌آلدهید منجر به خسارت در غشاء سیتوپلاسمی می‌شود و این شاید دلیلی بر کاهش آنزیم پاداکسنده اندازه‌گیری شده در این آزمایش در غلظت‌های بیش از ۳۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک بود. ارزیابی کلی پایه ها در پاسخ به سطوح مختلف بور نشان داد که رقم گلدن دلیشز روی پایه M26 نسبت به پایه های دیگر از لحاظ تحمل به سمیت بور برتر بود و می‌توان از آن در برنامه توسعه باغات سیب در مناطقی با میزان بور بیش از ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک استفاده کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از پرسنل آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجانغربی بویژه آقایان کوروش طهماسبی و علیرضا نوروزی آذر برای تجزیه نمونه های آزمایشگاهی سپاسگزاری می کنند.

References

Apostol, K. G., and Zwiazek, J. J. 2004. Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. Environmental and Experimental Botany 51 (2): 145-153.

Princi, M. P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., Abenavoli, M. R. 2016. Boron toxicity and tolerance in plants: recent advances and future perspectives. pp. 115-147. In: Srivastava, S., Srivastava, A. K., and Suprasanna, P. (eds.) Plant-metal interaction. Springer

Brown, P. H., and Hening, H. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol- rich species. Annals of Botany 77: 497-505.

Camacho-Cristóbal J. J., Rexach J., and González-Fontes A. 2008. Boron in plants: deficiency and toxicity. Plant Biology 50: 1247-1255

Dhindsa R. A., Plumb-Dhindsa, P., and Thorpe, A. 1981. Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Experimental Botany 126: 93-101.

El-Feky, S. S., El-Shintinawy, F. A., and Shaker, E. M., 2014. Role of CaCl2 and salicylic acid on metabolic activities and productivity of boron stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 3 (2): 368-380.

Gunes, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagci, E. G., Coban, S., and Sahin, O. 2006. Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. Scientia Horticulturae 110: 279-284.

Hassani, Gh., Noorjo, A., and Henareh, M. 2009. Effect of rootstock and different levels of irrigation on yield and fruit quality of apple cv. Golden Delicious. Seed and Plant 25 (2): 51-62 (in Persian).

Heath, R. L., and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Archives Biochemistry Biophysics 125: 850-857.

Herrera, R. M, B., Gonzales-Fontes, A., Rexach, J., Camacho-Cristobal, J. J., M. Maldonado, J. and Navarro-Gochicoa, M. T. 2010. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. Plant Stress 4 (2): 115-122.

Kamali, A., and Childers, N. F. 1970. Growth and fruiting of peach in sand culture as affected by boron and fritted form of trace elements. Journal of the American Society

for Horticultural Science 95: 652-656.

Koutinase, N. 2013. Response of the apple rootstocks M9, M26 and MM106 to boron toxicity. Acta Horticulturae 981: 471-474.

Landi, M., Degl'Innocenti, E., Pardossi, A., and Guidi, L. 2012. Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 7: 255-270.

Lutts, S., J. M. Kinet., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany 78: 389-398.

Majidi, A. 2010. Interaction between boron adsorbed with phosphorous and silicon in calcareous soils. Ph. D. thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 215 pp. (in Persian).

Molassiotis, A., Sotiropolos, T., Tanou, G., Diamanitidis, G., and Therios, I. 2006. Boron-induced damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9. Environmental and Experimental Botany 56: 54-62.

Nable, R. O., Banuelos, G, S., and Paull, G. 1997. Boron toxicity. Plant and Soil Journal 193: 181- 198.

Nezamdoost, S., Farrokhzad, A., and Rasouli-Sadaghiani, M. H. 2017. Effect of potassium silicate on reduction of boron accumulation and oxidative damages in grape (*Vitis vinifera* cv. Bidaneh Sefid) under boron toxicity stress. Iranian Journal of Horticultural Science 48: 392-401 (in Persian).

Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E., and Imani, A. 2010. The effects of boron stress on growth, physiological characteristics and the distribution of boron in scion-rootstock combination of almond (*Prunus dulcis* Mill). Journal of Horticultural Sciences 26: 440-447 (in Persian).

Paparnakis, A., Chatzissavvidis, C., and Antoniadis. 2013. How apple responds to boron excess in acidic and limed soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 36 (4): 787-796.

Rostami, H., Tabatabaei, S. J., Zare Nahandi, F., and Hajiloo, J, 2013. Concentrations of boron (B) on the growth and physiological characteristics of olives. Journal of Horticultural Science 27: 26-18 (in Persian).

Rostami, H., Tabatabaei, S. J., Zare Nahandi, F., and Poor Azar, M. R. 2014. Effects of different concentrations of boron on concentration and distribution of this

element and some other nutrients in hydroponic condition in two olive cultivars. Iranian Journal of Horticultural Science 45: 93-101 (in Persian)

Shelp, B. J. 1988. Boron mobility and nutrition in broccoli (*Brassica oleracea* var. italica). Annals of Botany 61: 83-91.

Wojcik, P. 2000. Availability of soil boron fractions to M26 apple rootstock. Journal of Plant Nutrition 23 (7): 1025-1035.

Wojcik, P., and Treder, W. 2006. Effect of drip boron fertigation on yield and fruit quality in a high- density apple orchard. Journal of Plant Nutrition 29: 2199-2231.

Wang, J. Z., Tao, S. T., Qi, K. J., Wu, J., Wu, H. Q., and Zhang, S. L. 2011. Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. African Journal of Biotechnology 10 (85): 19693- 19700.

Wolf, B. 1974. Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. Communication in Soil Science and Plant Analysis 5: 39-44.

Yau, S. K., and Ryan, J. 2008. Boron toxicity tolerance in crops: a viable alternative to soil amelioration. Crop Sciences 48 (3): 854-865.